

English-language abstract
of second-mentioned reference

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-044123
(43)Date of publication of application : 16.02.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/203

C30B 29/38

H01L 33/00

H01S 5/323

(21)Application number : 2000-175664

(22)Date of filing : 12.06.2000

(71)Applicant : SHARP CORP

(72)Inventor : HOOPER STEWART EDWARD
BARNES JENNIFER MARY
HEFFERNAN JONATHAN
KEAN ALISTAIR HENDERSON

(30)Priority

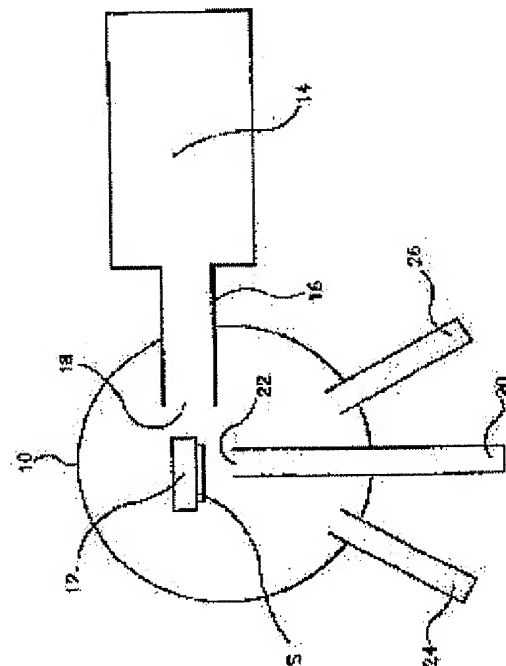
Priority number : 99 9913616 Priority date : 12.06.1999 Priority country : GB

(54) METHOD FOR GROWING SEMICONDUCTOR LAYER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method by which a high-quality nitride semiconductor layer can be grown by molecular beam epitaxy.

SOLUTION: A method for growing a nitride semiconductor layer by molecular beam epitaxy includes a step (a) of positioning a substrate S in a vacuum chamber 10, a step (b) of growing a $GaxAl_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) layer on the substrate S by molecular beam epitaxy, and a step (c) of annealing the $GaxAl_{1-x}N$ layer. The method also includes a step (d) of growing a nitride semiconductor layer on the $GaxAl_{1-x}N$ layer by molecular beam epitaxy at a V/III molecular ratio of $\geq 100:1$ in the vacuum chamber 10. In the steps (b) and (d), in addition, an ammonia gas is supplied to the chamber 10.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-44123

(P2001-44123A)

(43) 公開日 平成13年2月16日 (2001.2.16)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/203		H 0 1 L 21/203	M
C 3 0 B 29/38		C 3 0 B 29/38	Z
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C
H 0 1 S 5/323		H 0 1 S 5/323	

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-175664(P2000-175664)

(22) 出願日 平成12年6月12日 (2000.6.12)

(31) 優先権主張番号 9913616.0

(32) 優先日 平成11年6月12日 (1999.6.12)

(33) 優先権主張国 イギリス (G B)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 スチュワート エドワード フーバー
イギリス国 オーエックス5 2 ジェイエ
ス キドリントン オクソン, プレンハ
イム ロード, クリーブドン コート
3

(74) 代理人 100078282

弁理士 山本 秀策

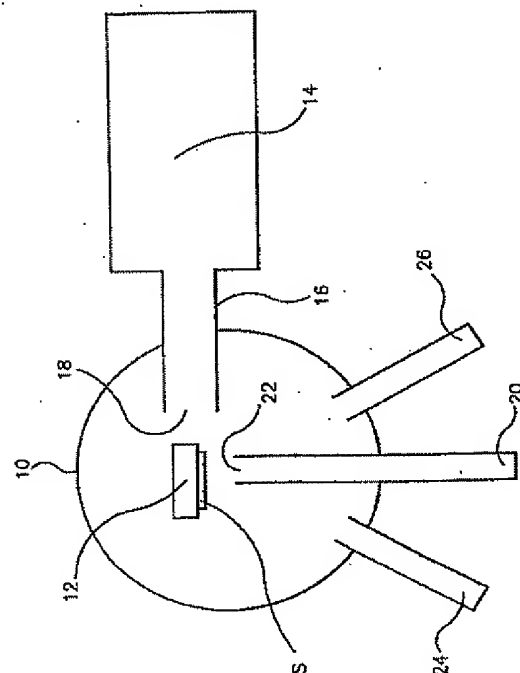
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体層の成長方法

(57) 【要約】

【課題】 分子線エピタキシによる高質な窒化物半導体層の成長法を提供する。

【解決手段】 分子線エピタキシにより窒化物半導体層を成長させる方法であって、(a) 真空チャンバ10内に基板Sを配置する工程と、(b) 分子線エピタキシにより基板S上に $Ga_xAl_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$) 層を成長させる工程と、(c) $Ga_xAl_{1-x}N$ 層をアニーリングする工程と、(d) 100:1以上の真空チャンバ10内のV/I I I分子比で、分子線エピタキシにより、 $Ga_xAl_{1-x}N$ 層上に窒化物半導体層を成長させる工程と、を含み、工程(b) および工程(d) において真空チャンバ10にアンモニアガスを提供する工程を更に含む、方法。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 分子線エピタキシにより窒化物半導体層を成長させる方法であって、

- a) 真空チャンバ内に基板を配置する工程と、
- b) 分子線エピタキシにより該基板上に $Ga_{1-x}Al_xN$ ($0 \leq x \leq 1$) 層を成長させる工程と、
- c) 該 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層をアニーリングする工程と、
- d) 100:1以上の該真空チャンバ内のV/III分子比で、分子線エピタキシにより、該 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層上に窒化物半導体層を成長させる工程と、

を含み、

該工程(b)および該工程(d)において該真空チャンバにアンモニアガスを供給する工程を更に含む、方法。

【請求項2】 前記工程(d)が、500:1以上の前記真空チャンバ内のV/III分子比で、前記窒化物層を成長させることを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記工程(d)が、1000:1以上の前記真空チャンバ内のV/III分子比で、前記窒化物層を成長させることを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項4】 前記工程(d)が、100:1~10,000:1の範囲の前記真空チャンバ内のV/III分子比で、前記窒化物層を成長させることを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項5】 前記工程(b)が、該工程(b)における少なくとも100:1の前記真空チャンバ内のV/III分子比で、前記 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層を成長させることを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項6】 前記工程(b)が、該工程(b)における100:1~10,000:1の範囲の前記真空チャンバ内のV/III分子比で、前記 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層を成長させることを含む、請求項5に記載の方法。

【請求項7】 前記工程(b)で成長した前記 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層の厚さが、5~200nmの範囲内である、請求項1に記載の方法。

【請求項8】 前記工程(b)が、400~600℃の範囲内の基板温度で、前記 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層を成長させることを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項9】 前記 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層をアニーリングする工程の間に、前記真空チャンバへ前記アンモニアガスを供給する工程を更に含む、請求項1に記載の方法。

【請求項10】 前記 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層をアニーリングする工程の間の、前記基板温度が950~1050℃である、請求項1に記載の方法。

【請求項11】 前記 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層をアニーリングする工程の所要時間が、0分~90分の間である、請求項1に記載の方法。

【請求項12】 前記 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層をアニーリングする工程の所要時間が、約45分であり、核生成層の厚さが20nmである、請求項11に記載の方法。

【請求項13】 前記 $Ga_{1-x}Al_xN$ 層をアニーリング

する工程の所要時間が、約15分であり、核生成層の厚さが70nmである、請求項11に記載の方法。

【請求項14】 前記工程(d)の間の前記基板温度が、約900~1050℃の範囲内である、請求項1に記載の方法。

【請求項15】 請求項1に記載の方法によって成長した窒化物半導体層。

【請求項16】 請求項15に記載の窒化物半導体層を含む半導体素子。

10 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、GaN等の第III族の窒化物半導体材料のエピタキシャル成長のための分子線エピタキシ(MBE)法に関する。

【0002】

【従来の技術】基板上での第III族の窒化物半導体材料のエピタキシャル成長は、分子線エピタキシ(MBE)または、時には気相エピタキシ(VPE)としても知られる化学蒸着(CVD)によって達成され得る。

【0003】CVD(またはVPE)は、通常は大気圧にあるが、典型的には約10kPaの僅かに減少した圧力になることが時々ある装置において起こる。アンモニアと、エピタキシャル成長において用いられる1以上の第III族元素を提供する種とが、エピタキシャル成長が起こる基板の表面に対して実質的に並行して供給され、これにより、基板表面に隣接し、かつ基板表面上を流動する境界層が形成される。この気体境界層において、窒素およびエピタキシにより堆積する他の元素を形成する分解が起こり、それによりエピタキシャル成長が気相平衡によって駆動される。

【0004】CVDと対照的に、MBEは高真空環境で実施される。GaN系に適用されたMBEの場合、典型的には約 1×10^{-3} Paの超高真空(UHV)環境が用いられる。アンモニアまたは別の窒素前駆体は、供給導管によりMBEチャンバに供給され、ガリウムおよび、場合によっては、インジウムおよび/またはアルミニウムを提供する種が、エピタキシャル成長時に、MBEチャンバに供給される種の総量を制御するための、制御可能なシャッターが取り付けられた加熱された流出セル内の適切なソースから供給される。流出セルからのシャッター制御出口および窒素供給導管は、エピタキシャル成長が起こる基板の表面に面する。アンモニアおよび流出セルから供給された種は、MBEチャンバ内を移動し、堆積動力学により駆動される様式でエピタキシャル成長が起こる基板に到達する。

【0005】GaNは、約0.45nmの格子定数を持つ。GaNに格子整合した適切な基板が欠如しているため、GaNは概して、サファイア基板または炭化ケイ素基板のいずれかの基板上で成長する。GaNとサファイアまたは炭化ケイ素の間が格子不整合であるので、サ

ファイアまたは炭化ケイ素上に高質のGaNを成長させるために、薄い最初の核生成層を基板上に提供する必要がある。

【0006】AkasakiおよびAmanoは、「Japanese Journal of Applied Physics」Vol. 36、5393頁～5408頁（1997年）において、低い成長温度で堆積された薄いAlN層は、サファイア基板または炭化ケイ素基板上での金属有機化学成長（MOCVD）法によるGaN層の成長を促進するために、核生成層として用いられ得る、とレポートしている。

【0007】米国特許第5290393号は、MOCVDを用いたGaN層の成長を促進するために、低い成長温度で堆積したGaN核生成層を用いることを開示している。

【0008】上記の従来技術文書では、後続のGaN層の特性に対する核生成層の熱処理の効果に関しては述べられていない。Linらの「Applied Physics Letters」Vol. 68、3758頁～3760頁（1996年）およびSugiuraらの「Journal of Applied Physics」Vol. 82、4877頁～4882頁（1997年）は、核生成層の制御されたアニーリングにより、後続のGaN層の質を向上し得るとレポートしている。核生成層をアニーリングすることによる効果に関するこれら二つの研究は、MOCVDにより成長させられるGaN層に対して行われた。

【0009】現在、高質なGaN層の成長の大半が、MOCVDを用いて実施されている。MOCVDにより、核生成層の成長および核生成層のアニーリングに対して、十分な制御が可能である。更に、MOCVDは、1000:1を優に超えるV/III分子比で成長を引き起こす。（V/III分子比とは、成長過程における第V族元素と第III族元素の分子比である。より高質のGaN層をもたらす、より高い基板温度を用いることが可能になるため、高率のV/III分子比は好適である。）現在では、MBEによって高質のGaN層を成長させることは、MOCVDによりそのような層を成長させることよりも困難である。主に困難であるのは、成長過程における十分な窒素の供給であり、10:1以上のV/III分子比を得ることは困難である。窒化物層のMBE成長において、通常用いられる2種類の窒素ソースは、プラズマ励起分子窒素またはアンモニアである。

【0010】米国特許第5385862号および国際公開報WO92/16966により、MBEを用いたサファイア基板上での単結晶GaNフィルムの成長法が開示されている。この方法においては、成長過程で用いられる窒素は、プラズマソースを用いて分子窒素を励起することにより得られる活性窒素である。この方法においては、最初の核生成層の成長は、400℃以下の成長温

度に制限され、後続のGaN層の成長は、900℃未満の成長温度に制限されている。当該特許は、GaN核生成層を結晶化する工程を開示しているが、この工程にかかる時間を明記していない。この方法により成長するGaN層は、 $100\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ 未満の室温での電子移動度を有する。

【0011】アンモニアを窒素ソースとして用いるMBEによるGaNの成長法は、Yangらの「Applied Physics Letters」Vol. 67、1686頁～1688頁（1995年）でレポートされている。この従来法においては、GaN核生成層は、プラズマ励起分子窒素から得られた窒素を用いて成長し、成長したその核生成層はアニーリングされない。後続のGaN半導体層は、成長過程におけるV/III分子比が低いために、750℃の低い成長温度で成長する。この方法により、 $100\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ 未満の室温での移動度を有するGaN層が製造される。

【0012】アンモニアを窒素ソースとするMBEを用いたGaN層の成長に関しては、Grandjeanらによる（1）「Journal of Applied Physics」Vol. 83、1379頁～1383頁（1998年）および（2）「Applied Physics Letters」Vol. 71、240頁～242頁（1997年）において更なるレポートがされている。これら2つの文書においては、GaN核生成層が用いられる方法がレポートされている。アニーリング工程において存在するアンモニアが少量のために、900℃の低い温度ではあるが、核生成層はアニーリングされる。その後成長するGaN層は、成長過程で得られるV/III比が低いために、830℃の低い成長温度で成長する。Grandjeanらは上記（1）において、3:1～5:1（約60:1～100:1の分子比と等しい）のV/III比（原子窒素対ガリウム）をレポートしているが、一方で、Grandjeanらは上記（2）において、そのV/III比に対する値を明記していない。これら2つの文書においてレポートされている方法によって、 $150\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ 未満の室温での電子移動度を有するGaN層が製造される。

【0013】欧州特許出願番号0607435号は、MBEによる窒化物半導体材料の成長法を開示している。この方法は、基板上で定方位の多結晶窒化物半導体材料の薄い層を成長させることおよび、引き続き、その薄い多結晶層上に単結晶の窒化物半導体層を成長させることを含む。多結晶層はアニーリングされないで、その薄い層は単結晶の層が成長する時も、その多結晶構造を維持する。

【0014】欧州特許出願番号0497350号は、MOCVD法によるサファイア基板上におけるGaN層の成長に関する。GaAlNバッファ層は基板上で成長し、GaN層は、そのバッファ層上で成長する。この文

書では、バッファ層の組成における変化がどのようにエピタキシャル層の質に影響を及ぼすかを調査している。

【0015】それゆえ、MBE法を用いる高移動度のGaN層の成長法を実現することが望ましいと考えられ得る。これを実現するために、GaN層の成長温度を上げることが必要である。多結晶材料および十分な表面被覆率を達成するためには、成長温度は重要である。核生成層を結晶化させ、且つ平らにするためには、アニーリング温度が重要である。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来の技術によれば分子線エピタキシによって高い電子移動度を有する高質の窒化物半導体層を成長させることはできなかった。本発明はこの課題に鑑みてなされたものであって、分子線エピタキシによる高質な窒化物半導体層の成長法を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明における第1の目的は、分子線エピタキシによる窒化物半導体層の成長法を提供することである。その方法は、(a) 真空チャンバ内に基板を入れる工程、(b) 分子線エピタキシによる、基板上に $Ga_xAl_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$)の核生成層を成長させる工程、(c) $Ga_xAl_{1-x}N$ 層をアニーリングする工程、と、(d) 100:1以上の真空チャンバ内のV/IIIの分子比で、分子線エピタキシにより、 $Ga_xAl_{1-x}N$ 層上で窒化物半導体層を成長させる工程、を含み、工程(b)および工程(d)においては、真空チャンバにアンモニアガスを供給する工程を更に含む方法である。

【0018】本発明では、100:1以上の真空チャンバ内のV/IIIの分子比でGaN層の成長が実行されるので、成長過程はより高い温度で実行され得る。その結果、本発明は、従来技術による方法でよりも、より高質の窒化物半導体層を製造する。本発明は、例えば、 $250 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ よりも高い、室温での電子移動度を有するGaN層を製造し得る。この移動度は、MOCVD法により得られる移動度と比べて優れている。更に、工程(b)および工程(d)で真空チャンバにアンモニアガスを供給することは、MBE成長過程に必要な窒素を提供するためには都合が良い方法であり、それによって、活性窒素を提供するために、窒素またはアンモニアプラズマを発生させる必要がなくなる。

【0019】工程(d)は、500:1以上の真空チャンバ内のV/IIIの分子比または、1000:1以上の真空チャンバ内のV/IIIの分子比で、窒化物層を成長させる工程を含み得る。工程(d)は、100:1~10,000:1の範囲の真空チャンバ内におけるV/IIIの分子比で、窒化物層を成長させる工程を含み得る。

【0020】工程(b)は、すくなくとも100:1の

真空チャンバ内におけるV/IIIの分子比で $Ga_xAl_{1-x}N$ 層を成長させる工程を含み得る。工程(b)

は、100:1~10,000:1の範囲の真空チャンバ内におけるV/IIIの分子比で $Ga_xAl_{1-x}N$ 層を成長させる工程を含み得る。

【0021】工程(b)において成長する $Ga_xAl_{1-x}N$ 層の厚さは、5nm~200nmの範囲内であり得る。

【0022】工程(b)における基板温度は、400℃~600℃の範囲内であり得る。

【0023】工程(c)は、 $Ga_xAl_{1-x}N$ 層のアニーリング工程において真空チャンバにアンモニアガスを供給する工程を含み得る。

【0024】 $Ga_xAl_{1-x}N$ 層のアニーリング工程における基板温度は、950℃~1050℃の範囲内であり得る。

【0025】 $Ga_xAl_{1-x}N$ 層のアニーリング工程における所要時間は、0分~90分の間であり得る。

【0026】 $Ga_xAl_{1-x}N$ 層のアニーリング工程における所要時間は約45分であり得、核生成層の厚さは20nmであり得る。あるいは、 $Ga_xAl_{1-x}N$ 層のアニーリング工程における所要時間は約15分であり得、核生成層の厚さは70nmであり得る。

【0027】工程(d)における基板温度は、900℃~1050℃の範囲内であり得る。

【0028】本発明における第2の目的は、上記に定義される方法により成長する窒化物半導体層を提供することである。

【0029】本発明における第3の目的は、上記に定義される窒化物半導体層を含む半導体素子を提供することである。

【0030】

【発明の実施の形態】本発明における好適な実施形態を、添付の図を参照しながら、実施例に基づいて説明する。

【0031】GaN層の成長を示す本発明の実施例を説明する。

【0032】適切な基板を従来の様式で用意し、MBE装置の成長チャンバに入れる。基板は、好適にはサファイアであるが、炭化ケイ素、単結晶ケイ素、酸化亜鉛または酸化マグネシウムでもよい。成長チャンバは典型的には高度の真空になり、基板は概して、エアロックを通して成長チャンバに入れられる。

【0033】基板は最初に、約1,000℃の温度に熱せられる。これは、汚染物質を除去するための基板のベーキング工程である。基板内での不均一の温度分布は基板内での熱応力を導く可能性があるので、温度増加率は基板内での不均一の温度分布が発生するほど高くすべきではない。毎分10℃~120℃の昇温レートが適していると思われる。

【0034】もし望むのであれば、基板は表面の窒化を達成するためベーキング工程において、アンモニアにさらされ得る。

【0035】ベーキングの工程が完了すると、基板の温度は400℃～600℃の範囲の温度に下がる。アンモニアガスおよび元素ガリウムが、100:1と10,000:1の間の成長チャンバにおけるV/IIIの分子比をもたらすために、成長チャンバに提供される。それによって、GaN層がMBEにより基板上で成長する。GaN層は、その後の成長工程において核生成層の役割を果たす。核生成層の厚さは、好適には5～200nmの範囲内である。

【0036】核生成層の成長工程は、図1の(a)として示されている。

【0037】核生成層が成長すると、基板温度は950℃～1,050℃の間の温度に上昇せられる。昇温レートは、基板内および基板と核生成層(異なる膨張係数を持つ)の間の過度の熱応力を防ぐために選択されなければならない、毎分10℃～120℃の範囲の昇温レートが適している。このあと、温度はこの値で維持され、核生成層は好適には、アンモニアフラックス下でアニーリングされる。この段階は、図1の(b)に示されている。

【0038】アニーリング工程の所要時間は、好適には0分から90分の間である。

【0039】400℃～600℃の範囲の温度で成長するGaN核生成層は、多結晶構造を有することになる。核生成層がアニーリングされる時、結晶構造は多結晶から単結晶へと変化する。

【0040】アニーリング工程が終了すると、GaN半導体層は核生成層上に成長する。この工程における基板温度は、900℃～1,050℃の範囲に保たれる。アンモニアガスおよび元素ガリウムの供給速度は、反応チャンバ内で少なくとも100:1のV/IIIの分子比をもたらすように選択され、GaN層は分子線エビタキシによって成長する。成長チャンバにおけるV/IIIの分子比は、100:1～10,000:1の範囲内のいずれかの値を有し得るが、成長工程における可能な限り最も高い基板温度は、成長チャンバ内のV/IIIの分子比が上昇すると共に上昇するので、成長チャンバでのV/IIIの分子比は好適には500:1より大きく、更に好適には1,000:1よりも大きい。

【0041】本発明において、アンモニアガスはGaN核生成層およびGaN半導体層の成長に必要な窒素を提供するために、MBE装置の成長チャンバに供給される。本発明は、MBE成長過程に窒素を提供するため、例えば、プラズマソースを用いた活性窒素の生成を必要とはしない。

【0042】図2は、本発明に記載の分子線エビタキシ法によって成長したGaN層の透過電子顕微鏡写真によ

る断面図である。図2は、4μmの厚さを有する、意図的にではなくドーパされたGaN層の断面を示す。GaN層の上部3μmが、比較的貫通転位がないことが示される。図2におけるGaN層の上部3μmにおける貫通転位(threading dislocation)の密度は、約 $8 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ である。対照的に、従来のMBE法により成長したGaN層は、Grandjeanらによる前述(1)によると、少なくとも $5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ の貫通転位の密度を有すると思われる。MOCVDにより成長したGaNにおける貫通転位の典型的な密度は、Lesterらによる「Applied Physics Letters」Vol. 66, 1249頁～1251頁(1995年)によれば、 $10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ の間である。

【0043】本発明における分子線エビタキシ法を用いて成長した、意図的にではなくドーパされたGaNフィルムの室温でのホール効果の測定は、典型的に $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満のキャリア濃度(n型)を示し、 $250 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ よりも大きな電子移動度を示す。これらの結果は、(前述の)AkasakiおよびAmanoによりレポートされている典型的なMOCVDのGaN材料に対する値と比べて優れている。

【0044】図3は、本発明における分子線エビタキシ法を用いて成長した、意図的にではなくドーパされたGaN層の光ルミネセンススペクトラムを示す。スペクトラムは、4つの異なる温度で表わされる。スペクトラムが、自由励起子ピークを含むバンドエッジ近接の発光が支配的であることが分かる。このような光ルミネセンススペクトラムは、高質のGaN層を示す。

【0045】図4は、後続のGaN層におけるキャリア濃度およびキャリア移動度に対するGaN核生成層の厚さによる効果を示す。アニーリング工程の所要時間は、全バッファ層の厚さに対して15分である。このアニーリング時間に対しては、70nmの厚さが、最大の移動度および最小のキャリア濃度を提供するので、核生成層にとっては好適である。

【0046】図5は、後続のGaN層におけるキャリア移動度およびキャリア密度に関するアニーリング時間の効果を示す。このデータは、20nmの厚さを有する核生成層を用いて得られ、この厚さの核生成層にとって、45分のアニーリング時間は最大の移動度および最少のキャリア濃度を得ると分かった。

【0047】本発明における成長過程での成長チャンバ内の高率のV/IIIの分子比を用いることにより、従来技術のMBE法で用いられた温度よりも高い温度で、窒化物半導体層の成長を可能にする。これにより、材質が向上することになる。MOCVD法と比較して、本発明におけるMBE成長法は少なくとも1000倍少ないアンモニアガスしか必要としない。

【0048】本発明においては、成長過程における成長

チャンバ内で100:1よりも大きなV/IIIの分子比を達成し得るMBE成長装置が必要である。このような高率のV/IIIの分子比は、例えば、アンモニアガスが、基板からの放射熱が供給導管の出口の過度の局所加熱を引き起こすことがない限りにおいて、その出口の端ができる限り基板の近くに位置する導管を通して、成長チャンバに導入されるMBE成長装置内で達成され得る。元素ガリウムは従来の流出セルを用いて成長チャンバに導入される。さらなる流出セルは必要に応じて、エピタキシャル成長材料に混合するアルミニウムおよび/またはインジウムおよび/または元素ドーパントを提供するために用いられ得る。

【0049】図6は、本発明に記載の方法に基づく分子線エピタキシによる窒化物半導体材料の成長に適した装置の概略図である。この装置は、基板Sを支持および加熱するために置かれた加熱されたサポート12を配置した真空チャンバ10を含む。真空チャンバ10は、真空チャンバ10に延びた排気導管16を介して超高真空ポンプ14に接続されている。排気導管16の内端は、真空チャンバ10の真空出口18を規定する。真空出口18は、基板サポート12に隣接して配置されている。図6のMBE装置において、MBE成長は装置の成長チャンバとして機能する真空チャンバ10で起こる。

【0050】真空チャンバ10は更に、第1の供給導管20の出口22が、エピタキシャル成長が起こる基板Sの表面に隣接し、且つ面するように真空チャンバに延びた第1の供給導管20を備える。第1の供給導管20は、第1の供給導管20の出口22と基板Sのエピタキシャル成長面の間の比較的短い距離がエピタキシャル成長過程で変更され得るように、チャンバに対して適切に、調整できるように搭載され得る。第1の導管20の長軸は、実質的にエピタキシャル成長の面に垂直である。

【0051】第1の供給導管20は、エピタキシャル成長過程に必要な窒素の前駆体であるアンモニアを供給するために用いられる。第1の供給導管20の出口22は、基板Sに比較的近く位置しているので、真空チャンバ10内の超高真空環境がポンプ14により達成されることを可能にする一方で、比較的高いアンモニア蒸気圧がエピタキシャルに成長する材料の表面に集中する。高いアンモニア蒸気圧により、成長過程の真空チャンバ10において、高率のV/IIIの分子比が実現され得る。

【0052】装置は更に、個々に動作可能である、エピタキシャル成長過程で必要とされ得る元素ガリウムおよび別の元素（例えば、アルミニウム、インジウムまたはドーパント）のソースを含むシャッターで制御可能な流出セル24および26（図6で示される2つのセル）を含む。流出セル24および26は従来通りに位置し、2番目および更なる供給導管を個々に規定する。

【0053】上述の型のMBE装置は、欧州特許出願第98301842.5号に記載されており、その内容はここで参照とする。しかしながら、本発明は欧州特許出願第98301842.5/0864672号に記載のMBE装置に限定されないが、成長チャンバ内で必要なV/IIIの分子比を提供し得るいずれのMBE成長装置で実行され得ることを言及されるべきである。

【0054】上述の実施形態において、核生成層はGaN層である。核生成層は、これに限定されないが、 $0 \leq x \leq 1$ である $Ga_xAl_{1-x}N$ により生成され得る。

【0055】上述の実施形態はGaN層の成長に関連するが、本発明はこれに限定されない。しかし、他の窒化物半導体層の成長に用いられ得る。例えば、GaAlNおよびGaInNも本発明に記載の方法によって成長され得る。

【0056】上述の実施形態において、成長するGaN層は意図的にはドーピングされない。しかしながら、MBE成長過程に適したドーパントをそれ自体周知である様式で導入することにより、GaN層をドーピングすることが可能である。適したドーパントは、シリコン、スズ、ゲルマニウム、マグネシウム、カルシウム、炭素、ベリリウムおよびインジウムを含む。

【0057】本発明における分子線エピタキシ法により、窒化物半導体層が成長すると、更なる半導体層が、(Al, Ga, In)Nの電子素子またはオプトエレクトロニクス素子を製造するために成長され得る。例えば、本発明に記載の方法により成長したGaN層は、380nm~450nmの波長範囲の光を放射するレーザ素子の基礎として用いられ得る。

【0058】以上に述べたように、本発明の方法は、分子線エピタキシにより、GaN層等の窒化物半導体層を成長させる方法であり、分子線エピタキシにより、基板上にGaAlN核生成層を成長させる工程を含む。核生成層がアニーリングされると、窒化物半導体層が、分子線エピタキシによりその核生成層上に成長する。窒化物半導体層は、100以上のV/III分子比で成長する。これにより、良質の半導体層が得られるように、高温の基板温度を用いることが可能になる。MBE成長過程に必要な窒素を提供するために、アンモニアガスが成長過程で供給される。

【0059】本発明における1つの実施形態において、核生成層をアニーリングする工程での基板温度は、950~1050℃の範囲である。窒化物半導体層の成長時の基板温度は、900~1050℃の範囲内である。

【0060】

【発明の効果】本発明によれば、分子線エピタキシによる高質な窒化物半導体層の成長法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における1つの実施形態に基づく成長過

程における、基板温度と時間の関係を表わした概略図である。

【図2】本発明に記載の方法を用いて成長したGaN層の透過電子顕微鏡写真による断面図である。

【図3】本発明に記載の方法を用いて成長した、意図的ではなくドーピングされたGaN層の4つの異なる温度時の光ルミネセンススペクトルを示す図である。

【図4】本発明に記載のMBE成長法により成長した、後続のGaN層のキャリア密度および移動度に対するGaN核生成層の厚さによる効果を示す図である。

【図5】本発明に記載のMBE法を用いて成長した、後続のGaN層のキャリア密度および移動度に対するGaN核生成層のアニーリング工程の所要時間による効果を*

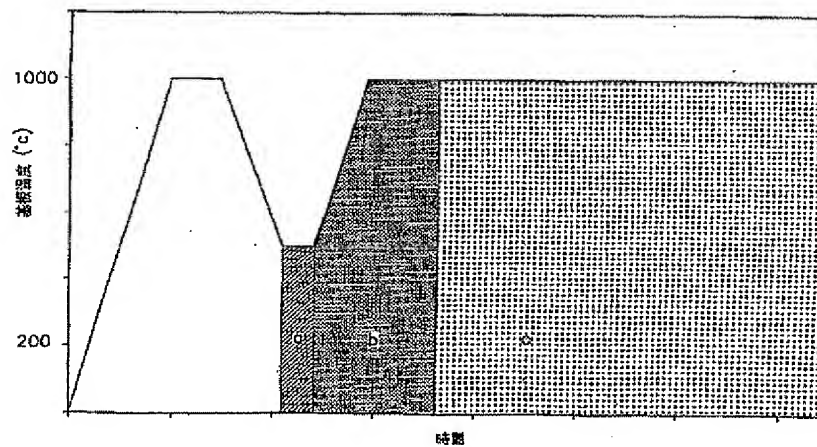
* 示す図である。

【図6】本発明に記載の方法を実行するために適したMBEチャンバの概略図である。

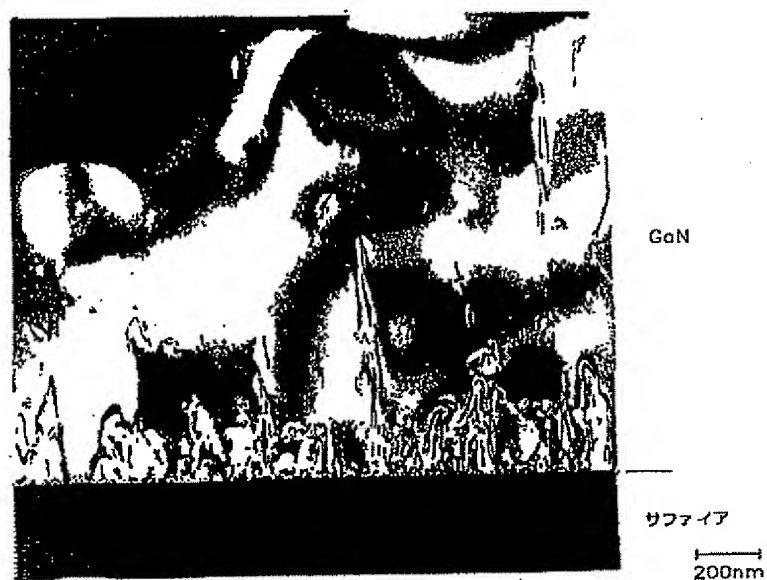
【符号の説明】

- 10 真空チャンバ
- 12 サポート
- 14 超高真空ポンプ
- 16 排気導管
- 18 真空出口
- 20 供給導管
- 22 出口
- S 基板

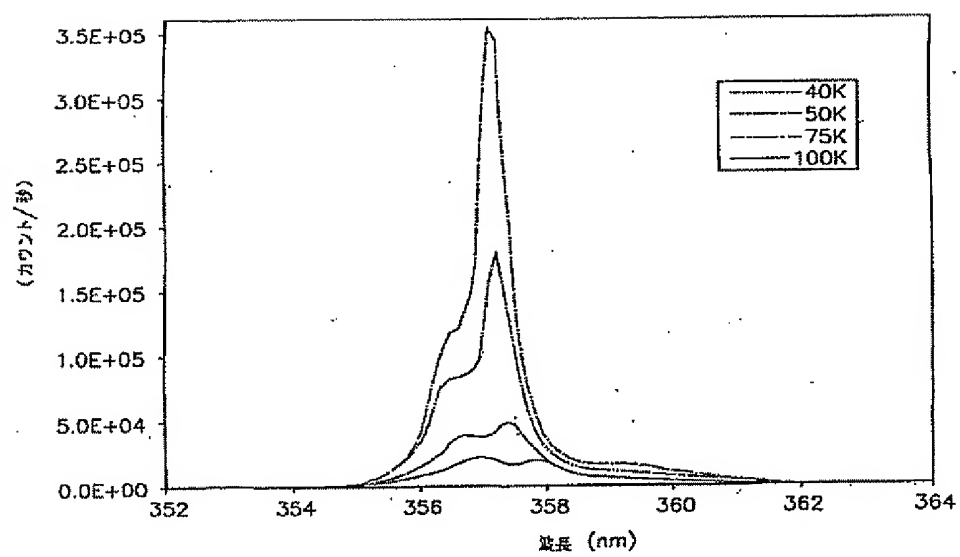
【図1】



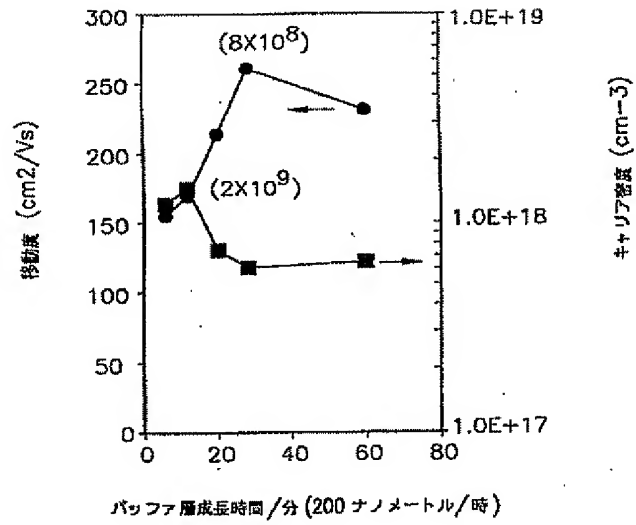
【図2】



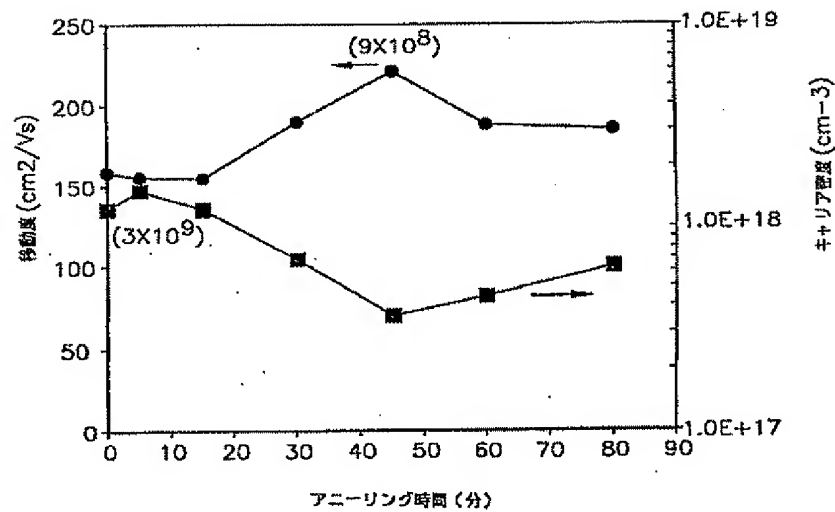
【図3】



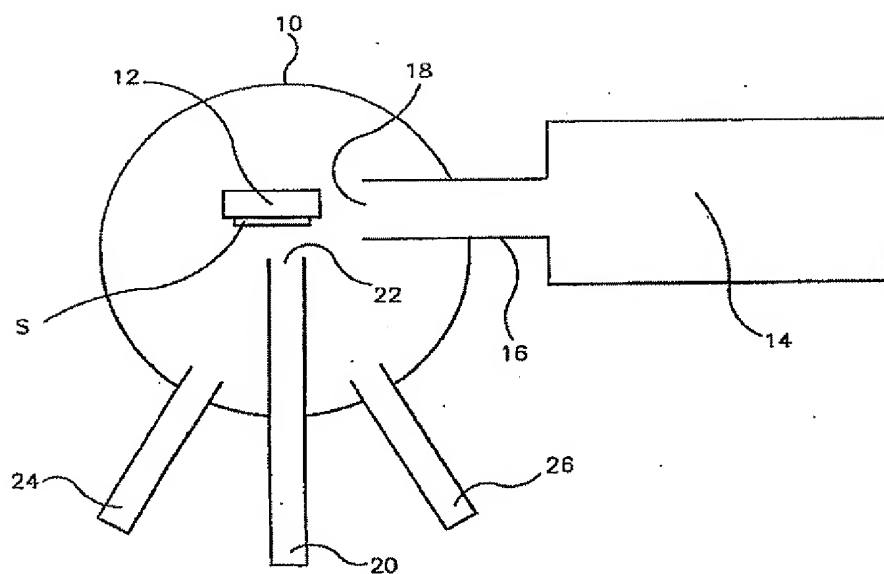
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 ジェニファー メアリー バーンズ
イギリス国 ティーダブリュー12 1イー
エフ ミドルセックス, ハンプトン,
レクトリー グローブ 98

(72)発明者 ジョナサン ヘファナン
イギリス国 オーエックス2 9ビーダブ
リュー オックスフォード, エインシャ
ム ロード, デントン クローズ 45
(72)発明者 アリスター ヘンダーソン キーン
イギリス国 オーエックス44 7ティーテ
ィー オックスフォードシャー, スタッ
ドハンプトン, スクール ヤード 4